耐旱節水水稻新品系之研發

羅正宗[1,3] 呂奇峰[1] 陳榮坤[1] 陳演書[2] 劉啟東[2]

摘要

稻為全球三大主要作物之一，全球稻米的生產約有 75%來自於灌溉方式所栽培的水稻，在農作物的栽培中，水稻是所有作物中耗水量最大的作物。近年來，隨著氣候異常，加上都市化民生用水及工業化用水量激增，引發水源運用分配的問題，因此改善農業用水資源利用的情形，才可達到農業永續經營的目標。現行水稻湛水栽培耗用大量水源，成為農業灌溉用水的最大宗，因此在水資源分配競爭的情況下，提升灌溉用水效率，發展節水栽培技術，對水稻的生產、糧食的供應相當重要。本計畫擬研發適合臺灣地區的節水栽培品種，評估節水栽培對水分利用效率的影響，藉此發展出低投入、高效率的環境親合性栽培技術。本試驗進行 8 個雜交組合，繁殖 9 個 F1 雜交組合，並於看天田進行觀察選拔，並有 35 個品系進行觀察試驗，以篩選下一世代作為明年度初級產量比較試驗之育種材料。35 個參試材料於節水環境下有 11 個品系發揮較佳耐旱特性，生育及產量性狀與慣行栽培環境下並無明顯差異，甚或高於慣行栽培下之材料。

關鍵詞：水稻、節水、育種。

前言

在台灣，極端氣候造成乾旱，導致大規模的休耕問題，並進一步嚴重影響本國水稻的生產。顯然，水稻之耐旱性狀育種愈加重要，如何加速改善水稻的抗旱能力有其必要及急迫性。全球氣候變遷，致使水資源出現極端變化，隨之而來的乾旱成為世界性的問題，栽培之作物也勢必面臨水資源缺乏的困境，且缺水乾旱對作物之質與量會產生嚴重之影響 (鄒等，2006)。在作物生長逆境中，乾旱對稻米生產是僅次於病蟲害的第二位限制因素 (山倉，1981)。在水資源日益缺乏的今天，如何提高水稻的耐旱能力與水分利用效率，已成為育種家們關注的主要課題之一 (褚等，2006)。

稻米是台灣最主要的糧食作物，水稻培育需大量的灌溉水，如水分不足，將造成植株生長及光合產物減少，穀粒充實度及稻米品質皆因而降低。如何提高水稻對缺水

1 台南區農業改良場嘉義分場。

2 國立嘉義大學農藝學系。

3 通訊作者 電子信箱：jclo@mail.tndais.gov.tw；電話：05-3751574 #11。

逆境的適應能力，及水稻旱作亦逐漸成為水稻節水栽培的重要途徑之一。水稻品種間在同一生育期下，對缺水程度的反應並不一致，因此節水策略應從品種開始，釐清各品種的水分利用效率，在視不同生育期的需水量，可較精準的改善灌溉用水效率，達到節水栽培的目的。

在水稻耐旱育種試驗中，通常採用乾旱條件下的產量表現來評價品種的耐旱性。然而在乾旱環境下作物基因型與環境的交感增加，使產量的遺傳力降低，因而僅透過對產量的選擇來培育耐旱品種的效率並不高。為此，有學者認為選用對乾旱逆境反應敏感且遺傳力較高的次級性狀 (葉片捲曲程度、葉片水分含量、幼苗耐旱性等) 作為耐旱鑒定指標，可以克服直接根據產量表現選育品種的不足，推動耐旱育種工作的有效進行。作物品種生育初期具耐旱特性是該品種抗性的重要指標之一 (高等，1984; Iskender and David, 2001; Jeannette *et al*., 2002)，因此苗期抗旱鑑定勢必為重要環節，在秧苗期進行耐旱性鑑定，可對多量品種 (系) 系統材料進行簡單快速篩選，降低育種選擇的複雜性、減少田間工作量、避免天氣影響，提高選拔效率、加快育種程序 (周等，2005)。本計劃利用傳統及分子輔助育種進行耐旱 (節水)水稻新品系之研發，期選育出適合台灣地區節水栽培之新品系，以達到節省灌溉水量並能維持穩定的稻作生產量與品質。

前人研究

植物抗旱性是植物對水分缺乏環境的耐受能力，Levitt (1980) 將植物的抗旱性定義在供水量很低的情況下，植物可以生存的能力。Turner (1997) 則認為抗旱性是作物遭受週期性缺水仍能具有正常生長及結實的能力，由於作物生產最終目的是產量，學者進一步指出，在缺水條件下，作物能獲得足夠的產量能力稱為抗旱性。抗旱性包括避旱性、耐旱性及復原抗旱性等，因此抗旱性涉及三個主要生理範疇：(1) 乾旱條件下作物維持高含水量；(2) 作物在低含水量的狀況下保持其生理功能；(3) 乾旱後作物含水量和功能的恢復 (Blum, 1999)。

植物遭遇缺水時會產生許多適應能力，以應付不良的乾旱生長環境。在作物生產田間，僅在乾旱期間生存是不夠的，作物必須生產合理的產量以達栽培目的。作物對於乾旱的適應機制一般而言分為四種 (Fukai and Cooper, 1995)：

一、逃旱性 (drought escape)

作物生長於大量降雨和高土壤水分效率期間完成其生活史，以躲避乾旱時期。乾旱的發生時期為決定穀粒產量之重要因素，由於早熟品種通常能逃脫晚期逆境，故當遭遇晚期逆境時可能較晚熟品種有較高的穀粒產量。

二、避旱性 (dehydration avoidance)

為作物在乾旱期間避免於低水分狀態之機制，以維持較高的葉片水勢。主要有兩個方法：

1. 從土壤中獲取更多水分，如植物可生成較深及較密的根系吸收土壤深層的水分。
2. 早期乾旱階段緩慢利用土壤水分，以便在後期有更多可用之水分。由於水田中犁底層 (hard pan) 的產生，水稻比陸稻對於水分的利用有更多限制，通常抑制深層根系統的發展及經由深層的滲透作用、滲漏及土壤表面之水分蒸發作用 (evaporation) 損失更多的水分。植物水分狀態藉由根系統維持水分吸收的平衡和地上部水分需求所決定，因此要使植物有高葉片水分潛勢可藉由地上部機制的維持以降低水分需求。

三、耐旱性 (dehydration tolerance)

植物即使在低水分潛勢下也可維持代謝的機制稱為耐旱性，當具有耐旱性的品種 (系) 遭受致命性低水分潛勢時亦會導致植物體死亡。

Arrandeau (1989) 認為，水稻同化產物的轉運特性與耐旱性有關，當水分逆境發生在穀粒充實期間，耐旱性可使植物維持代謝活性數天和繼續轉運先前在充實穀粒所產生的同化產物。同化作用的生產貯存在水稻穀粒成熟期間 (ripening period) 被認為由二部分所構成，第一部分為水稻植株至抽穗期同化產物的貯存，於成熟期間轉運至穀粒；另一部分為成熟期間同化產物生產。相較於其他穀類作物，水稻穀粒充實期間有更多同化產物的貯存 (Weng *et al*., 1982)，因此在晚期逆境中耐旱性對水稻是非常重要的。

四、乾旱恢復性 (drought recovery)

當乾旱發生於作物生長初期，乾旱恢復性為一個重要的機制。一些水稻品種為多分蘗之基因型，而這些分蘗的產生如果在解除乾旱後有足夠的時間生長以完成穀粒充實則可減緩乾旱所造成的損失。

基因表現的恢復與乾旱期間綠色葉片保持的能力有關，當逆境出現在幼穗分化期葉片的維持尤其重要，因為維持良好葉片的品種 (系) 在抽穗期後乾旱解除，可產生更多的同化產物 (Lilley and Fukai, 1994)。

材料與方法

利用本場已建立之水稻幼苗及成株耐旱性篩選系統，進行雜交育種後代耐旱株之篩選，選育耐旱水稻新品系：(1) 於溫室中以世代促進方式，加速雜交後代種子之純化，每世代種子利用 20% PEG 溶液進行水稻幼苗耐旱性之篩選 (圖 1)。(2) 以溫室水泥槽之土耕方式，施以 15~-20 kPa 之土壤水分逆境，進行水稻成株耐旱性之篩選。(3) 配合田間旱田直播之看天田節水栽培方式，進行雜交後代植株之篩選。

利用分子標誌輔助水稻耐旱品種之選拔：(1) 利用良質米團隊建立之水稻耐旱性狀基因 QTL 相關資料與分析技術，篩檢臺灣及國外水稻具該特性栽培品種或種原 30 個以上，以了解該基因於國內稻種的分布情形。(2) 選擇國內適當栽培品種與本場育成之

品系，作為與國際稻米研究所 (IRRI) 合作計畫之材料，應用 IRRI 之設備與環境，提升我國分子標誌輔助水稻耐旱 (節水) 選拔之技術。

結果與討論

水稻屬於淺根系的作物，對吸收深層土壤的水分的能力有限，在缺乏土壤水分的環境非常敏感 (Inthapan and Fukai, 1988)，因此許多育種學家希望找出抗旱或耐旱特性作為育種的目標，故本計畫希望於種子發芽至幼苗階段進行雜交後代篩選，在 F_2 分離世代以譜系法及混合選種法進行室內及田間選拔，比較不同選拔方式之效益，以有效進行子代耐旱篩選，提升耐旱選種成效。由表 1 發芽率表現可知，水稻雜交 F2 世代種子於滲透壓逆境下之發芽率，不同雜交組合間的表現不同，整體而言，陸稻親本之雜交後代種子具有較高的發芽率，兩親本均為一般水稻之雜交後代種子，經 20% PEG 篩選的發芽率表現較低，顯示陸稻之耐旱特性較水稻佳。Sun *et al,* (2010) 亦指出陸稻種子於滲透壓逆境下之發芽率較水稻佳，本試驗與其有相似之結果。由圖 2 得知，雜交

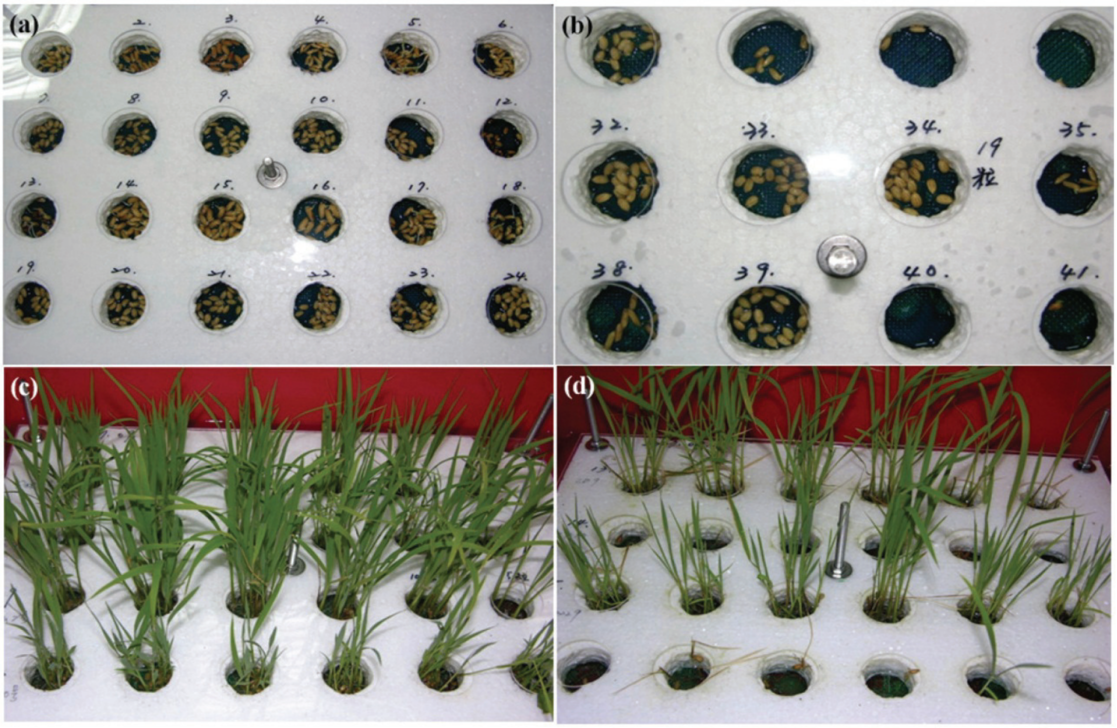

圖 1. 雜交種子於 20% PEG-6000 濃度中篩選(a)(b)及幼苗於 20% PEG-6000 濃度中篩選(c)(d) 。

Fig. 1. The hydroponic culture system for drought tolerance screening with Kimura solution containing 20% PEG at germination stage (a, b) and at seedling stage (c, d).

表 1. 利用 24%PEG 溶液進行 F2 種子發芽性耐旱篩選

F2 培育組合	發芽率
朝紫 / 茶山	64.3%
山美(紅糯) / 南系 2034	78.9%
茶山(香糯)/ CNY951701	91.2%
南系 2034/ CNY951701	46%

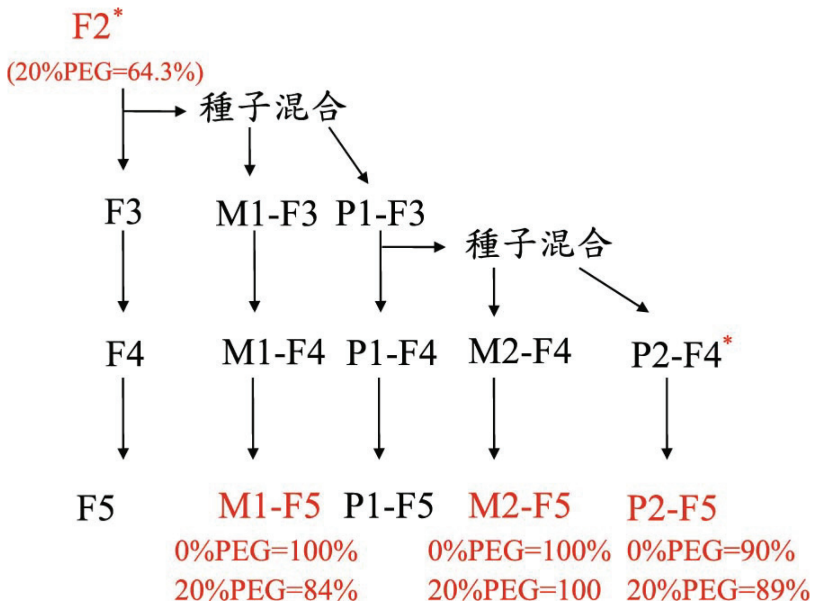

圖 2. 雜交組合(朝紫 × 茶山)不同世代耐旱篩選之發芽率表現

Fig. 2. Germination rate of Cross (Asamurasaki × Cha-Shan) in various generation.

組合 (朝紫 × 茶山) F_2 世代經 20% PEG 篩選之發芽率為 64.3%，經兩次 20% PEG 篩選之 M_1F_5 世代之發芽率提升至 84% (0 % PEG = 100 %)，經三次 20 % PEG 篩選之 M_2F_5 發芽率為 100% (0% PEG = 100%)，P_2F_5 發芽率為 89% (0 % PEG = 90%)。經三次 PEG 篩選的 M_2F_5 及 P_2F_5 之發芽率約為 100% 大於經兩次 PEG 篩選的 M_1F_5 為 96%。本試驗利用稻種子發芽階段以 20% PEG 滲透壓處理以模擬乾旱環境，結果顯示具選拔效應，將可應用於早期世代篩選及旱稻直播品種之選育。

本研究試驗利用水陸稻雜交組合，試驗結果至目前為 F_5 世代，由發芽率的結果顯示，經 PEG 篩選對水稻在滲透逆境下有提升發芽率的效益。稻作雜交後代選拔多採用譜系選種法 (pedigree method)，此法自 F_2 世代開始選種，育成新品種之時間較短，但因憑表型直覺選拔，優秀基因型易遺漏。在作物數量性狀之表現並非全由顯性之數量基因所決定，一般遺傳率較小，遺傳率較低之性狀應避免早世代選拔，而混合選種法可彌補譜系法之選拔缺失。本試驗中發現經三次 PEG 篩選的結果顯示利用譜系法及混

合選種法對水稻雜交子代有相似的效益，未來可持續探討以 PEG 於水稻種子發芽至幼苗階段進行雜交後代篩選，以達成縮短耐旱水稻育種年限提升選種成效。

稻作雜交育種工作從日據時代至今大多採用譜系育種法 (pedigree method)，在理論上此法自 F_2 世代開始選拔，如支配期望性狀之遺傳基因數少，可及早把握同接合型系統，並在育成途中兼作系統之特性觀察與檢定，故育成新品種之時間較短；但支配期望性狀之基因數多，同接合體出現率低，早期只憑表型形態直覺選拔，優秀基因型易遺漏。台灣水稻育種習慣使用譜系法由於場地與財力之限制，以較小之群體供選拔，無形中降低選拔機會與效率，品系或系統之選拔過分著重目察之選拔 (visual selection)，故選拔效率甚低 (張，1961)。此外學者亦指出，產量等數量性狀並非全由顯性之數量基因所決定，而其中由累加性基因對與不同基因對之相互作用佔大部分，數量性狀一般遺傳率較小，應避免早期世代選拔 (胡和黃，1980)。本試驗以聚乙二醇 (PEG-6000) 配置高滲透溶液模擬土壤乾旱條件於種子發芽階段進行雜交後代篩選，接著以譜系法及混合選種法進行田間選拔，比較其不同育種方法之選拔成效且進行有效的種子耐旱篩選，以縮短及提升育種時效。

結　語

臺灣地區現行的水稻栽培多採湛水栽培方式，在數個月的生育期間經常維持 3-6 公分的水深，常需要不斷的灌水以補充植株的蒸散及水田蒸發的損失，耗費相當龐大的灌溉水量，然而水稻產量與稻作總用水量間並無密切之直線關係。換言之，經常湛水栽培對水稻的產量並非絕對有益。台灣地區水資源之壓力與日遽增，當進行水稻節水栽培技術之研發，首先面對是品種之選擇，由於現今栽培品種多由湛水環境下所選育，對未來推行節水栽培技術可能是一大限制因素。因此，水稻節水栽培體系之推展應寄望於水稻節水(耐旱)品種之研發，目前臺南區農業改良場正進行此一育種計畫，期望不久未來能選育出適宜節水栽培之水稻新品系。

參考文獻

山倉，1981。植物水分虧缺和半乾旱地區農業生產中的植物水分問題，植物生理生化研究進展 3：114-119。

周廣生、崔克輝、靳德明、曹湊貴、徐才國、駱炳山，2005。發根力作為栽培稻品種苗期抗旱鑑定指標的研究，中國農業科學，38：2571-2576。

胡燦、黃賢喜，1980。水稻雜交育種譜系法與單子選種法之比較，臺中區農業改良場研究彙報，3：7-14。

高吉寅、胡榮海、路漳、楊國良，1984。水稻等苗期抗旱生理指標的探討，中國農業科學，17：41-45。

張德慈，1961。今後臺灣水稻品種改良之芻議，中華農學會新報，36：1-15。

鄒桂花、梅捍為、餘新橋、劉鴻豔、劉國藍、李名壽、羅利軍，2006。不同灌水量對水、旱稻營養生長和光合特性及其產量的影響，作物學報，32(8)：1179-1183。

褚旭東、李貴仕、王志、胡運高，2006。不同乾旱脅迫條件下水稻品種的抗旱性比較研究，中國稻米，5：9-11。

Blum, A.1980. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening test in wheat. Euphytica 29: 727-736.

Blum, A. 1999. Towards standard assays of drought resistance in crop plants. *In* : Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments. An international workshop held at the International Maize and Wheat Improvement Center, EI Batan, Mexica.

Fukai, S. and M. Cooper. 1995. Development of drought-resistant cultivars using physio-morphological traits in rice. Field Crops Res. 40: 67-86.

Inthapan P. and S. Fukai. 1988. Growth and yield of rice cultivars under sprinkler irrigation in south-eastern Queenaland. 2. Comparison with maize and grain sorghum under wet and dry conditions. Aust. J. Exp. Agric. 28: 243-248.

Iskender, T. and J. David. 2001. Andrews germination and seedling cold tolerance in sorghum I. Evaluation of rapid screening methods. Agronomy J. 93: 1386-1391.

Jeannette, S. B., C. Richard and P. L. Jonathan. 2002. Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. Crop Sci. 42: 1584-1594.

Kato, T. 1990. Heritability for grain size of rice (*Oryza sativa* L.) estimated from parent-offspring correlation and selection response. Japan J. Breed. 40：313-320.

Lilley, J. M. and S. Fukai. 1994. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. Field Crops Res. 37: 225-234.

Li, X., Z. W. Sun, R. M. Huang, L. N. Yan, and C. G. Lu. 2010. Response to water deficit at different growth stages of hybrid rice crosses and their cluster analysis. Jiangsu Journal of Agricultural Science 26: 225-231.

Sun, Y. Y., Y. J. Sun, M. T. Wang, X. Y. Li, X. Guo, R. Hu, and J. Ma. 2010. Effect of seed priming on germination and seedling growth of rice under water stress. Acta Agronomica Sinica 36: 1931-1940.

Surek, H. and N. Beser. 2005. Selection for grain yield and its component in early generations in rice (*Oryza sativa* L.). Trakya Univ. J. Sci. 6: 51-58.

Turner, N. C. 1997. Further progress in crop water relations. Advances in Agronomy 58: 293-339

Wang, H. Z., J. Ma, X. Y. Li, R. P. Zhang, and Y. Li. 2004. Study on drought resistance and screening of the drought resistance assessment indexes at germinating stage of rice. Southwest China Journal of Agricultural Sciences 17: 594-599.

Development of New Draught - Resistant Line for Rice

J. C. Lo[1,3], C. F. Lu[1], R. K. Chen[1], Y. S. Chen[2] and C. D. Liu[2]

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important staples in the world. Seventy five percent of the world's rice is grown under flooded, or submerged conditions, it is also one of the biggest users of the world's developed freshwater resources. Water for agriculture, especially for irrigated rice production, is becoming increasingly scarce due to greater urban, domestic and industrial demand. This research aims to obtain a proper method for the development of rice varieties can maintain or increase rice production under the situation of facing decline water availability. In 2013~2013, a total of 8 new combinations were crossed, 9 new F1 generation were developed, a total of 35 strains were selected out in F6 generation for observation tests. A total of 11 strains that allow rice production to be maintained or increased in the face of declining water availability.

Keywords: Rice, Saving water, Breeding.

1 Taiwan Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA.

2 Department of agronomy, National Chiayi university.

3 Corresponding Author, Email: jclo@mail.tndais.gov.tw ; Tel: 05-3751574 #11.